COLUMBIA LIBRARIES OFFSITE
HEALTH SCIENCES STANDARD
HX64141500
QP514 .K82 Studien und Versuche
RECAP

Studien und Versuche

über

Physiologische Elektrochemie

von

Rudolf Kohn
Schlackenwerth, Böhmen

COLUMBIA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF PHYSIOLOGY
COLLEGE OF PHYSICIANS AND SURGEONS
437 WEST FIFTY NINTH STREET
NEW YORK

Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp
1899

QV514 K82

Columbia University
in the City of New York

College of Physicians and Surgeons

Library

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
Open Knowledge Commons

http://www.archive.org/details/studienundversuc00kohn

Studien und Versuche

über

Physiologische Elektrochemie

von

Rudolf Kohn
Schlackenwerth, Böhmen

Halle a. S.
Verlag von Wilhelm Knapp
1899

QP514
K82

FEB 9 1945 RIK

Inhalt.

Seite

Vorbemerkungen 5

Thierphysiologisches 11

I. Aeltere Arbeiten 11

II. Der normale und der pathologische Stoffwechsel 17

III. Muskelmodelle 22

IV. Der pathologische Stoffwechsel 25

Pflanzenphysiologisches 29

Literatur der physikalischen Chemie, insbesondere Elektrochemie . . 33

Literatur über physiologische Elektrochemie 38

Zusammenfassung 40

Vorbemerkungen.

Seit mehr als fünfzig Jahren bildet die Erforschung der elektrischen Erscheinungen an Organismen eine Lieblingsbeschäftigung der Physiologen. Wenn gleichwohl seit Du Bois-Reymonds bahnbrechendem Werke über „Thierische Elektricität“ die Fortschritte auf diesem stark bearbeiteten Spezialgebiete in keinem rechten Verhältniss zu der von so vielen scharfsinnigen Gelehrten aufgewendeten Mühe stehen, so liegt die Vermuthung nahe, dass allgemeine und methodische Fehler der Erkenntniss hinderlich gewesen sind. Und in der That, alle Physiker, die physiologische Schriften lesen, sind erstaunt über die Nichtbeachtung der modernen physikalisch-chemischen Methoden von Seiten der Biologen. Trotz aller Warnrufe der angesehensten Physiker, die seit Jahren für die Weiterverbreitung ihrer Untersuchungsergebnisse agitiren, haben sich diese Verhältnisse bisher nicht merklich gebessert. Es hängt das mit dem Umstande zusammen, dass die meisten Physiologen und Pathologen eine einseitig medizinische Vorbildung genossen haben und sich durch Vernachlässigung des überaus wichtigen mathematischen Studiums der Möglichkeit berauben, den Arbeiten der Physiker, hier besonders der Physiko-Chemiker, zu folgen. So kommt es, dass die Biologen wohl die Errungenschaften der neueren Physik dem Namen nach kennen und auch gelegentlich darüber schreiben, ohne aber in das Wesen der neuen Begriffe eindringen zu können. Ostwald, der Altmeister der physikalischen Chemie, sagte auf dem Naturforschertag in Lübeck vor einigen Jahren: „Selbst da, wo Einer sich mit einem einzelnen Zweig der modernen Forschung vertraut gemacht hat, strebt er vor Allem darnach, das Neue, so gut es geht, an das Vorhandene anzuschliessen. So wird der neue Gedanke gestört und, wenn auch nicht gerade verfälscht, so doch seiner Kraft beraubt.“ Gelegentlich der Besprechung von Neumeisters „Physiologische Chemie“ in seiner „Zeitschrift für physikalische Chemie“ (1897)

sagt Ostwald, indem er die Unwissenheit der Physiologen in physikalischen Dingen bespricht, dass derjenige, der zuerst die Ergebnisse der neueren physikalischen Methoden in die Physiologie einführt, für diese Wissenschaft ein zweiter Liebig sein wird. Van 't Hoff, der Begründer der Stereochemie und Pfadfinder der osmotischen Theorie, hat auf dem 1898er Naturforschertag in Düsseldorf über die Wichtigkeit der Molekularphysik für die Physiologen Aehnliches dargelegt.

Die heutige physikalische Chemie beschäftigt sich nicht etwa hauptsächlich mit der Aufstellung neuer Hypothesen und Theorien, wie oberflächliche Beurtheiler vielleicht meinen könnten. Sie hält vielmehr grossen Kehraus und beschäftigt sich mehr mit der Widerlegung der alten unbrauchbaren und dem Ausbau der alten brauchbaren Annahmen und Theorien. Es wird wohl kaum eine Wissenschaft geben, die so vorsichtig mit neuen Annahmen ist wie die Physik, insbesondere die Molekularphysik. Erst wenn die experimentellen Bestimmungen mit den mathematisch berechneten Ziffern genau übereinstimmen, wird auf der Basis einer Annahme Weiteres gefolgert.

Der wichtigste Theil der physikalischen Chemie für die biologischen Disziplinen ist wohl die Ionentheorie oder vielmehr die Ionentheorien. Diese revolutionären Lehren haben alle bisherigen Anschauungen über das Wesen der chemischen Affinität über den Haufen geworfen und die ganze Molekularchemie gewissermassen zu einer Unterabtheilung der Elektrochemie gemacht. Ursprünglich wurden die Ionenbewegungen nur berechnet zur Kontrolle des Verhaltens wässeriger Salzlösungen, aber heute haben wir auch schon Ionentheorien der Gase mit den dazugehörigen experimentellen Bestimmungen (Lorentz, Zeeman, s. unten) und wir würden die Ionen auch in festen Körpern beobachten können, wenn feste Körper chemisch reagirten. Nicht die Moleküle, wie man bisher glaubte, sondern nur die Ionen (das sind Atomkomplexe mit hohen elektrischen Ladungen) sind reaktionsfähig. Es ist nicht möglich, mit wenigen Worten die Konsequenzen dieser Umwälzung in unsern Anschauungen über chemische Energie für die Physiologie darzulegen, aber man kann wohl sagen, die Zurückführung physikalisch-chemischer Reaktionen auf Ionenreaktionen bedeute, dass das bisherige Hauptinteresse der Chemiker von den konstitutiven materiellen Eigenschaften auf die additiven energetischen Eigenschaften abgelenkt wird. Viele Eigenschaften der Elemente, die bisher als spezifisch gelten mussten, zeigten im Lichte der Ionen-

chemie ihren allgemeinen, nur durch graduelle Unterschiede abgestuften Charakter. Ja, Ostwald will den hypothetischen Begriff der ponderablen Materie ganz aus der Wissenschaft verbannen und an ihre Stelle eine reine Energetik setzen.

Es ist nicht nothwendig, dass die Physiologen gleich so weit gehen und den vertrauten Begriff der greifbaren Materie aus ihrem Denken ganz entfernen, aber es ist nothwendig, dass dem energetischen Theile der Lebenserscheinungen eine grössere Aufmerksamkeit zu Theil wird als dem rein materiellen, der die Erscheinungen auf konstitutive Besonderheiten der einzelnen Atome zurückführen will. Von der Materie haben wir noch nie etwas Anderes bemerkt als ihre Energien; gleichgültig, ob eine Materie nach unserem alten Begriff existirt oder nicht, die Energie ist immer das Primäre, Greifbare und die Materie das Sekundäre, Hypothetische, Vorausgesetzte. Gelegentlich der Betrachtung des normalen und pathologischen Stoffwechsels soll an diesem Beispiel gezeigt werden, wie die neue Anschauungsweise die Untersuchungsmethode ändert.

So viel über allgemeine, methodische Fragen; aber auch Kleinigkeiten werden oft schwerwiegende Versuchsfehler veranlassen, wenn die Physiologen sich in der bisherigen Weise von der Elektrochemie abschliessen. So hat man in der Physiologie seit fünfzig Jahren die sogenannten „unpolarisirbaren“ Elektroden von Du Bois-Reymond und Hering verwendet,[1]) während es schon längst bekannt ist, dass es „unpolarisirbare“ Elektroden gar nicht geben kann.

Diese „unpolarisirbaren“ Elektroden bestehen aus einer Kombination Zink, Zinksulfatlösung, Kochsalzlösung. Damit lässt sich bei nicht zu hoch gespannten Strömen und bei nicht zu niedrigem Druck wohl das Auftreten der Gasbläschen vermeiden, das aber doch nur ein rein äusserliches Kennzeichen starker Polarisation ist und keineswegs die Polarisation selbst. Die Letztere lässt sich aus allgemeinen Gründen physikalischer Natur unter gar keinen Umständen bei flüssigen nichtmetallischen Elektricitätsleitern vermeiden. Alle nichtmetallischen flüssigen Leiter oder Elektrolyte werden beim Durchgang eines noch so schwachen Stromes zersetzt und die vom Strome erzeugten Zersetzungen oder auch nur Konzentrationsänderungen müssen ausnahmslos Polarisation erzeugen. Hätte Hering Kontrollversuche mit leblosem Substrat gemacht, so hätte

1) Du Bois-Reymond, „Thierische Elektricität“; Hering, Sitzungsber. Wiener Ak. LXXIX III. Abth., Nerven- und Muskelphysiologie; Biedermann, Elektrophysiologie.

er die Polarisation seiner unpolarisirbaren Elektroden nicht übersehen können. Hätte er einmal versucht, mit seinen Elektroden im Vakuum zu arbeiten, so hätte er trotz der in der Physiologie verwendeten schwachen Ströme sogar die Gasbläschen auftreten sehen.

Die Elektrochemiker hätten schon viele ungelöste technische Probleme gelöst, wenn sie unpolarisirbare Elektroden herstellen könnten. Es hat aber noch niemals ein Elektrochemiker solches versucht oder gar Herings Erfindung benutzt. Natürlich, die Elektrochemiker würden sich niemals getrauen mit elektrischen Apparaten zu hantiren, ohne sich vorher durch gründliche physikalisch-chemische Studien vorbereitet zu haben, sonst würde sich sofort ihr Dilettantismus offenbaren. Nur ein elektrochemischer Dilettant kann auf den Einfall kommen, die Polarisation in Elektrolyten abzuschaffen, eine Bemühung, die in dem vorliegenden Falle so aussichtsvoll ist, wie etwa die Quadratur des Zirkels, die ebenfalls nur mehr von Nichtmathematikern versucht wird. Man wird mir verzeihen, wenn ich eine Idee, die eigentlich von Du Bois-Reymond ausging, so absprechend beurtheile. Ich kann mich aber um die Wahrheit nicht herumdrücken und mein Vorwurf trifft mehr die Schüler des grossen Mannes, die noch heute bei der Elektricitätslehre von 1848 halten, als ihn selbst, der die modernen Hülfsmittel nicht kennen konnte; hat er doch selbst erst dazu beigetragen, sie zu schaffen. Auch Hering hat über diesen Gegenstand zu einem Zeitpunkt gearbeitet, wo die Thatsachen der Elektrochemie noch nicht so geordnet waren wie heute.

Die Polarisation wird sich niemals abschaffen lassen, man wird vielmehr daran gehen müssen, ihre Wirkung mit Hülfe von Kontrollversuchen aus den Zuckungskurven auszuschalten oder in gewissen Fällen sich auf Wechselstromversuche beschränken. Alle bisherigen Messungsversuche, die sicherlich tausende Druckbogen füllen, sind nicht exakt, weil die Kochsalzlösung zwischen Präparat und Metall wie ein Akkumulator wirkt.

Die Wirkung der „unpolarisirbaren“ Elektroden betrifft nur ein kleines Spezialgebiet, viel schlimmer sind die Folgen einer allgemein verbreiteten, aber nirgends ordentlich ausgesprochenen Idee — Hypothese kann man das nicht nennen —, welche die ganze Physiologie auf eine schiefe unwissenschaftliche Basis stellt, nämlich die Idee, dass es neben einer chemischen Physiologie auch eine separate Elektrophysiologie geben könne; denn alle theoretische Chemie ist Elektrochemie. Niemand hat meines Wissens die Unterscheidung von chemischer und elektrischer Phy-

siologie so deutlich ausgesprochen als Biedermann,[1]) aber alle Andern glauben ebenso daran, dass ein Muskel elektrischer ist als eine Pflanzenzelle, weil man vom Muskel Ströme ableiten kann und von der Pflanzenzelle gewöhnlich nicht. Von diesem höchst oberflächlichen Kennzeichen ausgehend, wollen Viele die biologische Elektricität als etwas ganz Spezielles ansprechen, das nur gewissen Organen und Organtheilen zukommt. Niemals ist eine so tiefgreifende Annahme mit weniger Berechtigung gemacht worden und doch handeln alle Experimentatoren unbewusst darnach, indem sie glauben, elektrische Untersuchungen nur bei jenen Organen anstellen zu müssen, wo sich die elektrischen Spannungsunterschiede äusserlich bemerkbar machen; es darf aber weder die Verdauung noch die Athmung, weder Assimilation noch Dissimilation ohne peinliche elektrochemische Sorgfalt untersucht werden, denn, ich muss es wiederholen, es giebt keine theoretische Chemie ohne Elektrochemie.

Wir kennen ausserhalb der Organismen hunderttausende chemische Gleichgewichtsänderungen, die von elektrischen Gleichgewichtsänderungen ausnahmslos begleitet sind, wir kennen aber keine einzige gegentheilige Erscheinung.[2]) Ist es da nicht ganz unwissenschaftlich, für den Zellmechanismus die Annahme zu machen, er arbeite hauptsächlich mit Schwerkraft, Licht, Wärme, chemischer und osmotischer Energie und mit der vielseitigsten, umwandlungsfähigsten und lebendigsten aller Energien gewissermaassen nur so nebenbei, in Muskeln, Nerven, Drüsen u. s. w.!? Manche scheinen wahrhaftig von der Meinung befangen, die Elektricität zeige sich in der Natur nur bei Gewittern, in Muskeln und gleichsam nur an Feiertagen, die Elektricität sei nur auf der Welt als Betriebskraft für allerlei Spielzeug, für Strassenbahnen und Bogenlampen. Indessen giebt es nirgendwo einen Körper ohne elektrische Spannungsunterschiede, nirgendwo einen chemischen Prozess, der nicht — streng wissenschaftlich — als elektrochemischer angesehen werden muss. Schwefelsäure greift Metalle nur wegen ihrer Elektronegativität an und wirkt gerade entgegengesetzt, wenn ihr von aussen eine entgegengesetzte elektrische Spannung zugeführt wird. Sie schlägt dann noch Metall aus der Lösung nieder. In diesem Sinne ist eine Leblanc-Soda-

1) W. Biedermann, Elektrophysiologie, Jena 1895.

2) Die Katalyse gehört wohl auch bald zur Elektrochemie. Vorläufig mag sie noch als Ausnahme gelten, es wird aber wohl Niemand alle Lebenserscheinungen auf katalytische Prozesse zurückführen.

fabrik ebenso „elektrochemisch“ wie eine rein elektrolytische Aluminiumindustrie. Die kontinuirlichen Ströme, die Drähte, die Platten, die Dynamos sind vom theoretischen Standpunkt nebensächlich, sie sind ein Kennzeichen dafür, dass auch der Mensch schon mit Elektricität zu hantiren gelernt hat und sie beliebig zu- und ableiten kann, aber sie sind doch kein Anzeichen dafür, dass die Elektricität nicht schon längst ohne Drähte, Platten und die anderen groben Hülfsmittel des Menschen die natürlichen chemischen Vorgänge beeinflusste. Ob ein Kupferstab von einer Kupfervitriollösung aufgelöst oder durch Niederschläge verstärkt wird, hängt einzig und allein von der Richtung des elektrischen Gefälles ab, das eine ist aber eben so gut ein elektrochemischer Prozess wie das andere.

Von dem Grundirrthum ausgehend, dass es eine Chemie ohne Elektrochemie, eine chemische Physiologie ohne Elektrophysiologie geben könne, haben sich eine ganze Reihe von Missverständnissen herausgebildet; man spricht von Resorption, Verdauung, Athmung, Ausscheidung und denkt sich darunter Erscheinungen, die sich ohne Zuhülfenahme elektrochemischer Gesichtspunkte erörtern lassen. Ich habe mich an anderen Stellen[1]) über derartige Unterlassungen ausführlicher verbreitet. An dieser Stelle sei nur erwähnt, dass ich durch Versuche festgestellt habe, dass das, was die Pflanzenphysiologen Wurzelausscheidungen nennen, zum grossen Theil das gerade Gegentheil sind, nämlich elektronegative Ionen (Säurereste), welche von den Wurzeln als Elektroden aus dem Boden abgesaugt werden. Wenn Einer in der Nähe von Elektroden aus Platin Säuren oder Basen findet und behaupten würde, die Säuren seien vom Platin „secernirt“, so würde man das sicherlich nicht einmal als unbewiesene Hypothese gelten lassen. Man würde es unmittelbar einleuchtend finden, dass die Säuren oder Basen die Zersetzungsprodukte der Salze der Leitungsflüssigkeit sind. Eben so wenig darf man daher aprioristisch, ohne jeden weiteren Beweis, Drüsensekrete als Ausscheidungen ansprechen, selbst wenn der Fall nicht so klar liegt wie im Magen und in der Niere, wo stark alkalische Drüsen stark saure Flüssigkeiten ausscheiden.

Ich bin natürlich nicht der Erste, der diese grundfalschen Methoden und Hypothesen beanstandet und gebe später eine darauf Bezug habende Literaturübersicht, die auf Vollständigkeit keinen Anspruch machen kann.

---

1) Physiologische Elektricität, Leipzig, B. Konegen, 1897. Ueber Wurzelausscheidungen, Landwirthschaftliche Versuchs-Stationen, demnächst erscheinend.

Thierphysiologisches.

I. Aeltere Arbeiten.

Wenn man sich erinnert, dass die gegenwärtig geltenden Grundlagen der physikalischen Chemie nahezu ein halbes Jahrhundert gebraucht haben, bevor sie Gemeingut aller allgemeinen Chemiker geworden sind, ja, dass es heute noch Chemiker-Spezialisten von angesehenem Namen giebt, die sich von den überlieferten Denkgewohnheiten nicht losreissen konnten, so wird man sich nicht wundern, wenn die von Drechsel und Anderen gelieferten elektrochemischen Arbeiten noch so wenig gewürdigt werden.

Drechsel[1]) bemühte sich nachzuweisen, dass viele Synthesen und Zersetzungen ausserhalb des Organismus mit Wechselstrom-Elektrolyse dieselben Endprodukte geben wie die natürlichen Vorgänge im Organismus. So wird Ammoniumcarbonat im Blut in Harnstoff übergeführt. Drechsel konnte mit Wechselströmen carbaminsaures Ammon in Harnstoff überführen. Ebenso hat er andere Körper, Phenol, Capronsäure mit Wechselströmen behandelt und ähnliche Produkte erhalten wie der Thierkörper. Er hat auch betont, dass man deshalb nicht an Wechselströme im Organismus zu denken braucht und hat auf das Verhalten der isolirten Mittelleiter in Stromlinien hingewiesen, obwohl damals die Theorie dieser Erscheinungen noch gar nicht berechnet war und das Phänomen selbst von den wenigsten Chemikern gekannt war. Es wird vielleicht für Viele nicht überflüssig sein, zu bemerken, dass isolirte Mittelleiter, zwischen zwei Elektroden gebracht, die Leitungsflüssigkeit zersetzen und auf der dem positiven Pol zugekehrten Seite als negative Elektrode, auf der Gegenseite als positive Elektrode erscheinen. Selbst wenn ein rothes Blutkörperchen ganz unelek-

1) Journ. prakt. Chemie, 22. Bd. S. 476, 26. Bd. S. 257, 29. Bd. S. 229, 34. Bd. S. 135, 38. Bd. S. 65. Berichte der deutsch. chem. Ges., 13. Band, S. 2436.

trisch gedacht wird, muss es mit gesetzmässiger Bestimmtheit in dem Augenblick, wo es zwischen zwei Punkten mit Spannungsunterschied passirt — und wo anders können Blutkörperchen bei der Vielheit der elektrischen Prozesse im Körper passiren —, zur doppelten Elektrode werden. Es muss gesetzmässig Oxydationen und Reduktionen veranlassen.

Es kann niemals zweifelhaft sein, dass die rothen Blutkörperchen das Plasma elektrolytisch oxydiren und reduziren müssen. Wenn etwas daran hypothetisch ist, so ist es nur der Umstand, dass diese Elektrolyse des Blutes möglicherweise nur eine nebensächliche Begleiterscheinung ist und nicht eine wichtige Lebensfunktion, wie ich sie mir denke. Ueber die physikalisch-chemische Natur der Blutkörperchen wurden schon viele Studien veröffentlicht (Koeppe, Hamburger, Hedin, Overton u. A.); allein alle diese Untersuchungen beschränkten sich bestenfalls auf die Beobachtung der osmotischen Vorgänge. Die genannten Autoren glauben, dass die Anwendung der Dissoziations- und Osmosetheorie allein genüge, um die Natur der Magensaftsekretion, des respiratorischen Gaswechsels u. s. w. aufzuhellen. Es ist jedoch immer schädlich, sein Augenmerk auf einzelne physikalische oder chemische Merkmale einer komplizirten Lebenserscheinung zu richten.

Gleichwohl sind viele der beschriebenen Versuche höchst interessant auch für den Elektrochemiker. Insbesondere die Experimente von Hamburger, der sich, wie es scheint, niemals mit Elektrochemie befasste und der also sicherlich in dieser Hinsicht nicht voreingenommen war, zeigen die genaue Uebereinstimmung des elektrochemisch Vorauszusagenden mit den gefundenen Thatsachen.

Dr. Hans Koeppe ist von allen physiologischen Elektrochemikern meines Erachtens der Scharfsinnigste und Modernste. Es ist aber bei dem ungeheuren Umfange dieses Spezialgebietes sehr schwer möglich, alle in Betracht kommenden Verhältnisse vollkommen zu überblicken, Jeder, der elektrochemische Physiologie betreibt, muss diese Erfahrung machen. Das soll natürlich Niemand abhalten, sich auf dieses gefährliche Gebiet zu begeben und Dr. Koeppes Arbeiten gehören trotz fundamentaler Irrthümer sicherlich zu den verdienstlichsten der letzten Jahre.

Sein Hauptirrthum besteht darin, dass er den grossen energetischen Unterschied zwischen gespaltenen, ganz zersetzten Ionen und zwischen dissoziirten Ionen, den er sehr wohl kennt, im entscheidenden Augenblick aus den Augen lässt. Eine Kochsalz-

lösung in verdünntem Magensaft besteht aus freien Na' (Ionen[1]) und freien Cl' (Ionen), welche ungeheure elektrische Ladungen besitzen und sich in Folge dessen gegenseitig sehr stark anziehen. Um aus einer solchen Salzlösung freie Säuren abzuspalten, braucht man einen sehr grossen Energieaufwand, nahezu 100 000 Kalorien pro Gramm Aequivalent; das Wasser hydrolysirt wohl Kochsalz in seine positiven und negativen Ionen, aber es zersetzt Kochsalz nicht. Zwischen Hydrolyse und Elektrolyse besteht der fundamentale Unterschied, dass die Wirkung des Wassers an den energetischen Eigenschaften des Kochsalzes nichts Wesentliches ändert, die Wirkung der elektrischen Zersetzung aber entfernt von den Ionen die elektrischen Ladungen, indem sie an das Kochsalz grosse Energiemengen abgiebt und dasselbe in Natrium und Chlor (nicht in Natrium- und Chlorionen) zersetzt. Ich kann mich nicht deutlicher in wenigen Worten ausdrücken, wer von den Ionentheorien gar nichts weiss, muss eben die später angeführten Bücher von Ostwald, Nernst, Arrhenius u. s. w. studiren. Man kann eben nicht die ganze Dissoziationstheorie in eine physiologische Arbeit einflicken.[2])

In seiner Arbeit über Salzsäuresekretion im Magen betont Koeppe am Anfang ganz richtig, dass die durch die Wasserwirkung dissoziirten Kochsalzmolekeln noch grosse elektrostatische Ladungen besitzen. Diese Ladungen müssen mit einem grossen Energieaufwand entfernt werden, bevor man aus dissoziirter Kochsalzlösung Salzsäure erhält. Der Unterschied zwischen einem Chloratom in Kochsalzlösung und einem Chloratom in Salzsäure liegt nur in seiner energetischen, elektrischen Ladung. Am Schlusse seiner Arbeit findet jedoch Koeppe, die Kochsalzmolekeln könnten ja „ohne besondere Energie" zersetzt werden, da sie doch schon hydrolytisch dissociirt sind. Koeppe glaubt, das bischen osmotische Energie der Nahrungssalze reiche zur Erzeugung der freien

1) Das Zeichen ' bezeichnet in der physikalischen Chemie den Ionenzustand.

2) Wenn die Biologen von der Ionentheorie gar nichts wüssten, so könnte man sich viel leichter mit ihnen verständigen. Die Meisten von ihnen glauben aber, den Gegenstand zu kennen, obwohl sie ihm bisher sehr wenig Aufmerksamkeit gewidmet haben. Unter diesen Umständen ist es sehr schwer, all den Vorurtheilen zu begegnen, die mit einer so oberflächlichen Kenntniss verknüpft sind. Auch würde es wohl wenig Zweck haben, auf die Einzelheiten der physikalischen Chemie genauer einzugehen. Es würde mir dann voraussichtlich ergehen wie den vielen Andern, die das versucht haben und einfach nicht gelesen wurden.

Säure des Magensaftes aus, übrigens auch ein physiologisch unhaltbarer Gedanke; nach dieser Anschauung könnte ein Thier, das Blut von der osmotischen Kapacität seines eigenen trinkt,[1]) keine Salzsäure secerniren, ja, die Magendrüsen müssten in gewissen Fällen, Wassergenuss auf leeren Magen beispielsweise, Salzsäure ins Blut und Alkali in den Magen entsenden.[1]) Es ist eben immer schädlich, sein Augenmerk immer nur auf einzelne bestimmte Merkmale einer komplizirten biologischen Erscheinung zu richten, es giebt eben im Magen neben der Osmose noch andere, meines Erachtens, fundamentalere Kräfte.[2])

Die glänzenden Versuche Koeppes, die er mit seinem eigenen Blute ausführte, sind trotz seines theoretischen Irrthums von bleibendem Werthe. Dass die elektrolytische Dissociation nicht allein ausreicht zur Erklärung der Spaltung der Nahrungssalze in sauren Magensaft und alkalisches Blut, wird dagegen wenig besagen. Die durch die Versuche von Wilson Philipp, von Frerichs, Claude Bernard, Schiff (nach Hermanns Handbuch der Physiologie) wahrscheinlich gewordene ältere Annahme, dass die Elektricität der Drüsennerven an dem Zersetzungsvorgang betheiligt sei, verdient vor den neueren Annahmen von Maly und Anderen entschieden den Vorzug. Die Versuche von Maly erhärten wieder die Thatsache, dass jede physikalisch-chemische Entdeckung mit einem ungeheuern Aufwand von Zeit, Scharfsinn, richtigen und falschen Beobachtungen erst noch einmal von Physiologen wiederholt werden muss, bevor sie sich in die Physiologie einführt. Die Entdeckungen Malys sind von Hittorf und Clausius früher und exakter beschrieben worden. Sie sind nichts weiter als der experimentelle Beweis für die verschiedenen Geschwindigkeitskonstanten verschiedener Ionen. Dass die schon von Purkině 1838[3]) vertretene Theorie der elektrolytischen (nicht hydrolytischen) Zersetzung des Kochsalzes im Magen später so unmodern geworden

---

1) Nach den Untersuchungen von Winter, Arch. de Physiol. 28 (S. 529), haben fast alle thierischen Säfte dieselbe osmotische Kapacität wie das Blut. Die Erklärung der Säureproduktion von Koeppe ist also für alle Carnivoren von vornherein unmöglich.

2) Es darf Niemand irre machen, dass Ostwald in seinen Referaten über Koeppes Arbeiten nichts Wesentliches tadelt. Sicherlich hat er die Arbeit über Salzsäuresekretion nicht ganz genau durchgelesen. Der grosse Physiko-Chemiker hat wahrscheinlich nicht genug Musse, elektrochemisch-physiologischen Schriften diejenige Aufmerksamkeit zuzuwenden, die sie eigentlich verdienen, weil sie eine neue Epoche in der Physiologie bedeuten.

3) Müllers Archiv S. 1/14.

ist, liegt vor Allem daran, dass die Physiologen nicht gerne elektrochemische Themata behandeln, ferner an dem Umstand, dass einige Experimentatoren nach Durchschneidung sämmtlicher Drüsennerven noch Säurebildung beobachtet haben wollen. Dass man diesen Umstand gegen die Annahme der Elektrolyse ins Feld führen will, zeigt von einer so gröblichen Verkennung elektrochemischer Verhältnisse, dass ich es mir nicht versagen kann, näher darauf einzugehen. Es scheint, dass man sich noch immer nicht eine Elektrolyse ohne Drähte, Platten, Zu- und Ableitung denken kann, obwohl diese Aeusserlichkeiten von Theorie und Praxis schon längst beseitigt wurden.

Zwischen dem elektronegativen Oxyhämoglobin des Blutes und den elektropositiven Nahrungsmitteln besteht — dies ist keine Hypothese, sondern eine ganz sicher feststehende Thatsache — eine starke theoretische elektrische Spannung. Man mag dieselbe ganz ungefähr mit zwei Volts entsprechend ca. 50 000 Kalorien Verbindungswärme beziffern, sie ist jedenfalls grösser als die theoretische elektromotorische Kraft der von Leclanché erfundenen Kombination Kohle-Braunstein-Salmiaklösung-Zink. Freilich ist es praktisch sehr wohl möglich, dass die Zelle von Leclanché mehr als ein Volt Spannung liefert und die Kombination Oxyhämoglobin-Fettsäure gar keine. Immer kommt es nur auf den Widerstand an, wie viel Wärme und wie viel Elektricität erzeugt wird. Ist der Widerstand unendlich gross oder unendlich klein, so wird überhaupt nur Wärme und keine Elektricität erzeugt. Ueberall in der scheinbar nicht elektrischen chemischen Technik, wo ohne elektrische Apparate gearbeitet wird, muss man in Folge des Mangels einer metallischen Ableitung der freigewordenen Elektricitätsmengen alle Verbindungswärme als Wärme und nicht als Elektricität erhalten. Also ich behaupte nicht, dass die elektromotorische Kraft der Kombination Nahrungsmittel-Oxyhämoglobin gesetzmässig Elektricität zur Ableitung und Aufsammlung für die verschiedenen Magennerven liefern muss, dass also die Zuleitung von Nervenelektricität für die Elektrolyse des Mageninhalts unnöthig ist, aber jeder wird zugeben, dass die Durchschneidung der Magennerven und die Untersuchung der Wirkung derselben auf die Salzsäureproduktion nicht im Geringsten die Frage der elektrochemischen oder nichtelektrochemischen Salzsäureproduktion entscheiden kann. Nerven leiten sicherlich viel schlechter als die Platten und Drähte der Leclanché-Zelle und wenn dem elektrischen Strome der Weg durch die Nerven nach Durchschneidung versperrt ist, wird er noch

hundert andere Wege finden, von den Nahrungsmitteln zum Oxyhämoglobin zu gelangen, hundert andere Wege, deren Widerstand nicht viel grösser sein wird als der Weg durch die sekretorischen Nerven, da ja eine systematische Isolirung, wie sie bei den künstlichen Elementen vorliegt, im Magen fehlt. Der Magen hat auch einen vielseitigeren Zweck als die galvanischen Elemente, er wäre viel unvollkommener, wenn er nach Art der künstlichen Elemente einseitig auf dem Prinzip möglichst vollständiger Isolirung konstruirt wäre. Der Magen hat ja viel mehr zu thun, als bloss Elektricität zu erzeugen.

Uebrigens gelingt es nicht einmal bei den technischen galvanischen Elementen, die nur einseitig für den elektrischen Zweck konstruirt sind, Kurzschluss ganz zu vermeiden und der Kurzschluss wird in neuerer Zeit um seiner selbst willen angewendet. Royer[1]) konnte bei Elektrolysen organischer Stoffe ohne Drähte auskommen, indem er durch eine entsprechende Kurzschluss-Kombination die chemische Energie organischer Stoffe zu ihrer eigenen Elektrolyse ausnützte. Dieses Verfahren, das in der organischen Natur ganz gewiss eine grosse Rolle spielt und von den Physiologen gar nicht gekannt zu sein scheint, ist später von Walther Löb[2]) weiter ausgebildet worden. Wenn also die alte Hypothese von der elektrolytischen Salzsäureerzeugung im Magen richtig ist, — und ich könnte noch hundert neue Gründe für sie bringen, wenn es mir darauf ankäme, solche Sachen, die sich sehr bald von selbst beweisen werden, noch länger breitzutreten — so braucht man sich die Nerven nicht in ganz oberflächlicher Weise an Stelle der metallischen Leitungsdrähte zu denken. Die Nerven hätten dann eine Funktion ähnlich wie die Zündhölzchen, eine den Prozess einleitende, auslösende Funktion, das kann aber das kleinste Ganglion in der Magenwand vielleicht besser als der ganze Nervenapparat, welcher möglicherweise die Ganglienfunktion nur hemmt und regulirt.

Es sei hier noch hinzugefügt, dass ein Zündhölzchen überhaupt nur elektrochemische Reaktionen auslösen kann, auch wenn man beispielsweise eine Kerzenflamme mit ihm entzündet. Die Verbindungswärme zwischen Fettsäure und Luftsauerstoff kann sogar aus der Flamme zum Theil als Elektricität durch entsprechende Ableitung erhalten werden. Ueber die umfangreiche Lite-

---

1) Compt. rend. 1869, Bd. 69, S. 1374.

2) Berichte der deutsch. chem. Gesellsch. 1896, Bd. 29, S. 1390.

ratur der Flammenelektricität kann man sich aus Wiedemanns Handbuch der Elektricität unterrichten. Ich habe das nur erwähnt, damit Niemand glaubt, der Vergleich eines Ganglions mit einem Zündhölzchen sei so oberflächlich, wie er auf den ersten Blick (für den Physiologen) aussieht.

II. Der normale und der pathologische Stoffwechsel.

Wenn man sich vor Augen hält, dass sogar das Brennen einer Stearinkerze im Grunde eine elektrochemische Reaktion ist, so wird man vielleicht glauben, dass mit der Umwandlung der chemischen Physiologie in eine elektrochemische Physiologie gar nichts gewonnen sein wird als eine Namensänderung. Wenn man einfach alle chemischen Reaktionen als elektrochemische bezeichnet, so scheint damit für die Erkenntniss der Lebensvorgänge wenig gethan. Und doch ist dies schon ein grosser Fortschritt. Denn nach dem teleologischen Grundsatz, von dem sich alle Naturforscher leiten lassen, liegt es sehr nahe, dass der Zellmechanismus die elektrischen Gleichgewichtsdifferenzen, die bei chemischen Gleichgewichtsveränderungen niemals fehlen, in viel vollkommenerer Weise, als es in der elektrochemischen Technik geschieht, ausnützt.

Ich muss da wieder auf das Beispiel der gewissermaassen nur nebenbei elektrischen Kerzenflamme zurückkommen und betonen, dass selbst in diesem Falle die elektrische Spannung zwischen Fettsäure und Sauerstoff zur Erzeugung der Licht- und Wärmestrahlen unerlässlich ist. In der Flamme tauschen die elektropositiven Fettsäuremoleküle, beziehungsweise ihre Zersetzungsprodukte, ihre positive Elektricität gegen die negative des Luftsauerstoffs aus. Natürlich geht das mit einem so über alle menschlichen Begriffe ungeheuerlich leichtflüssigen und elastischen Fluidum wie die Elektricität nicht so einfach, wie wenn man durch ein Hahnöffnen zwei kommunizirende Wasserröhren in Verbindung bringt. Selbst das gegen die Elektricität billionenmal weniger elastische Wasser schwankt mehrere Male in der Minute hin und her, bevor das Gleichgewicht hergestellt ist. Bei der Elektricität heissen die Schwingungen vor Herstellung des Gleichgewichtes nach ihrem Entdecker Hertz'sche Schwingungen. Unter bestimmten Grössenverhältnissen werden diese Schwingungen von uns als Lichtstrahlen empfunden. Wenn man sich erinnert, wie sehr wir gewohnt sind, einen pflanzlichen oder thierischen Körper als den Inbegriff der

allervollkommensten Maschine zu bewundern, so ist es mehr als eine blosse Annahme, wenn ich sage, die elektrochemischen Vorgänge in den Organismen sind hundertmal interessanter und komplizirter als in der von Menschen fabrizirten Kerze.

Es giebt zweierlei elektrochemische Prozesse, solche, die auch vom Laien als solche angesehen werden, es sind das beabsichtigte elektrochemische Prozesse, es giebt dann auch quasi nebenbei elektrochemische Prozesse, das sind alle übrigen chemischen Reaktionen. Dass die thierische Oxydation elektrochemisch im theoretischen Sinne ist, das ist selbstverständlich, wir kennen ja keine nicht-elektrochemische. Dass sie aber auch planmässig elektrolytisch im ersten laienhaften Sinne ist, das ist nach allen unseren physikalisch-chemischen Kenntnissen fast gewiss. Hat irgend Jemand ausserhalb des Organismus etwas Aehnliches wie eine „langsame Verbrennung“ ohne Elektrolyse beobachtet? Hat man, ausser bei katalytischen Aktionen, die man jetzt ebenfalls zu den elektrischen zu zählen geneigt ist, jemals ohne Mikroorganismen eine organische Substanz bei der Temperatur ihrer Umgebung oder ein paar Grade höher „verbrennen“ sehen? Nein, gewiss nicht. Wir kennen keinen andern Vorgang ausser den in den galvanischen Zellen, der sich mit der biologischen Dissimilation auch nur im Geringsten vergleichen liesse. So lange wir aber nichts dergleichen ausserhalb des Organismus gesehen haben — und wir werden es niemals sehen —, so lange ist meine Annahme die sich von selbst ergebende. Die gegenwärtig geltende Annahme von der nicht-elektrochemischen Natur der thierischen Oxydation ist im Gegentheil die gewagteste Hypothese und kann durch keinerlei anderen Grund belegt werden als durch die überlieferte Denkgewohnheit. Als vor hundert Jahren Lavoisier und Priestley die Verwandtschaft zwischen thierischer und anorganischer „Verbrennung“ aufdeckten, hatten sie eine wissenschaftliche That vollbracht, welche wir nicht weniger bewundern, wenn wir die Unterschiede zwischen thierischer und anorganischer Oxydation heute festlegen. Die alte Hypothese, die heute so unzeitgemäss und hinderlich für die Forschung ist, hat hundert Jahre lang die vortrefflichsten Dienste geleistet. Begraben wir also die unhaltbare Annahme von der nicht-elektrochemischen Oxydation.

Wer den Inhalt der heutigen physikalischen Chemie auch nur oberflächlich in sich aufgenommen hat, wird ohne Zweifel wissen, dass biologische Oxydationen und Reduktionen nach Lage

der Dinge nichts Anderes als intentionale elektrochemische Prozesse sein müssen, das heisst Vorgänge elektrischer Natur, elektrischen Ursprungs und elektrischer Wirkung. Ich muss diese Selbstverständlichkeiten so lange wiederholen, bis man mir Recht giebt oder bis man mich widerlegt. Niemand kann ernsthaft bestreiten, dass die „Verbrennung" der Nahrungsmittel ein elektrochemischer Vorgang im wissenschaftlichen Sinne ist, ich mache nur noch die kleine Annahme, dass diese elektrolytischen Reaktionen von elektrischen Ursachen ausgelöst werden und wieder Elektricität freimachen, eine Annahme, die sich angesichts unzähliger Thatsachen dem Elektrochemiker als unmittelbar einleuchtend aufdrängt, und es ergeben sich daraus eine Reihe der einfachsten Erklärungen der verwickeltsten biologischen Probleme. Nicht als ob ich eine einzige weitere Annahme machen müsste! Die Sache liegt vielmehr so, dass, wenn man überhaupt eine im technischen Sinne elektrolytische Oxydation der Nahrungsmittel annimmt, viele der unerklärlichsten Thatsachen, die zu den verrücktesten, phantasievollsten und komplizirtesten Annahmen Veranlassung gegeben haben, gar nicht anders als in Wirklichkeit verlaufen können. Ich brauchte daher nur auf einfache elektrochemische Thatsachen hinzuweisen, um in die Muskelkontraktion, in die Unverdaulichkeit der lebenden Magenschleimhaut, in die automatische Auslösung des Ausathmungsreizes, in die Aetiologie des Diabetes mellitus neues Licht zu bringen. Man hat mit Recht ein Misstrauen gegen spekulative Versuche, in komplizirte physiologische oder gar pathologische Vorgänge mit einem Male Licht zu bringen, man hat es mir besonders übel genommen, dass ich mir gerade die unerklärlichsten und komplizirtesten Probleme in meiner früheren Arbeit ausgesucht habe.

Ich habe aber absichtlich die schwierigsten Probleme der Physiologie ausgewählt, einerseits, weil diese so recht die Vorzüge der elektrochemischen Methode zeigen, andrerseits, weil diese Probleme eine sehr umfangreiche Literatur zu Tage gefördert haben. Jedes einzelne der von den verschiedenartigsten Methoden beeinflussten Experimente ist aber natürlich eine Bestätigung meiner elektrochemischen Anschauung.

Man lese in Hermanns Handbuch der Physiologie (v. Wittich, Diabetes mellitus) oder in Neumeisters „Physiologische Chemie", auf was für phantasievolle Einfälle die Erklärer des Diabetes gekommen sind und wie leicht sie widerlegt wurden. Demgegenüber mache ich nur die einzige Annahme, dass der Zucker

im Organismus elektrolytisch verbrannt wird — es soll Einer versuchen, Zucker in einer höchstens viertelprozentigen Lösung anders als elektrolytisch zu verbrennen — und alles Weitere ergiebt sich von selbst. Es ergiebt sich von selbst, dass, wenn durch Durchschneidung einer Hauptnervenleitung oder durch Degeneration der Nerven überhaupt der Leitungswiderstand der Nerven wächst und ihre elektromotorische Kraft zurückgeht, zuerst die Oxydation des Zuckers aufhören muss, da Zucker viel, viel schlechter leitet als die andern Respirationsnahrungsmittel, beispielsweise fettsaure Alkalien. Alle Zuckerarten — es ist irrelevant, ob der Blutzucker mit Glukose oder Jekorin identisch ist oder nicht — leiten Elektricität in konzentrirten Lösungen sehr schlecht und werden daher nur von den stärksten Spannungen angegriffen. In stark verdünnten Lösungen leiten die Zucker etwas besser und lassen sich leichter elektrolytisch oxydiren. In der Zuckerfabrikstechnik benützt man die elektrolyse-festen Eigenschaften der Zuckerarten zur Reinigung des Rübensaftes und zur Melasse-Entzuckerung, bei welchen Verfahren trotz hochgespannter starker Ströme keine Zuckerverluste resultiren, denn alle Zucker sind in grösserer Konzentration nahezu absolute Nichtleiter.[1])

In den kleinen Handbüchern liest man meist, dass nur der Stich ins vierte Gehirn-Ventrikel Diabetes experimentell hervorruft. Geht man aber der betreffenden Literatur genauer nach, so findet man, dass alle Stiche, die Hauptleitungen unterbrechen, Diabetes hervorrufen, wenn sie nicht sofort tödtlich wirken. So fand Schiff vorübergehenden Diabetes nach Durchschneidung der Sehhügel, der grossen Hirnschenkel, Verletzung der Varolsbrücke und Kleinhirnschenkel, dauernden Diabetes durch vollständige Trennung der hinteren Stränge des Halsmarks oder des obersten Brustmarks. Pavy fand Glykosurie nach Durchschneidung der Medulla oblongata und Einleitung künstlicher Respiration. (Nach Hermanns Handbuch.) Kurz überall, wo man es elektrochemisch erwarten muss, tritt Diabetes ein. Das ist aber noch lange nicht Alles. Da die elektromotorische Kraft des galvanischen Apparates des Organismus offenber gerade ausreicht, die normale Zuckermenge des Blutes zu oxydiren — denn wäre es anders, so wären alle Nahrungszucker längst zersetzt, bevor sie bis zu den Leber-

1) Fahring, Engl. Patent Nr. 3556/1886; F. Hönig, Oest. Ung. Ztschr. f. Zuckerindustrie (1895) 23, 970; Maigrot und Sabatés, Deutsch. Patent Nr. 50443 und Andere mehr; siehe Petters, Organische Elektrochemie S. 70 ff.

zellen gelangen —, so muss jede grössere Konzentration des Zuckers im Blute, sowie überhaupt jede andere Leitfähigkeitsverschlechterung des Blutes unfehlbar ebenfalls diabetisch wirken. Ja, da vom elektrischen Gesichtspunkte das Oxyhämoglobin der elektronegativste und wichtigste Bestandtheil des Blutes ist, muss sogar jede Verdünnung des Blutes Glykosurie erzeugen, entweder durch Verschlechterung der Leitfähigkeit, oder durch Herabsetzung der elektromotorischen Kraft; in der That, was immer man ins Blut injizirte, ob Protoplasmagifte, ob Kohlenoxyd, das sich mit Oxyhämoglobin verbindet, ob Wasser, ob definibrirtes Blut, immer erhält man Diabetes. Kein Elektrochemiker, kein gebildeter Zuckertechniker wird etwas Anderes erwarten. Und jetzt denke man sich alle diese Thatsachen unter dem Gesichtswinkel der Oxydation des Blutzuckers durch Fermente. Abgesehen davon, dass diese alte Hypothese den Thatsachen widerspricht, ist damit auch nicht das Geringste erklärt. Alles Unerklärliche wird einfach auf das Ferment geschoben. Und das war bisher noch die beste Hypothese über die Ursache des Diabetes!

Ich könnte noch viele Seiten mit der Uebereinstimmung von elektrochemischer Theorie und experimenteller Praxis füllen. Ich thue das nicht. Wer noch nicht überzeugt ist, wird es durch neue Gründe noch weniger werden, aber ich muss noch darauf hinweisen, wie wichtig es für die Therapie des Diabetes ist, eine richtige theoretische Grundlage zu besitzen. Zur Zeit behandelt man die Zuckerkranken auf zweierlei Weise. Einerseits sorgt man durch eine entsprechend ausgewählte Diät für die Erhaltung oder Erhöhung der normalen Nervenspannung, andrerseits schickt man die Kranken zu Sulfatquellen. Sulfate sind viel bessere Elektricitätsleiter als Chloride. Wenn die Diabetiker Karlsbader Wasser trinken und einen Strom von Sulfaten durch ihr Blut senden, so muss, wie man in der That beobachten kann, die elektrolysirende zuckerzersetzende Kraft des Blutes vermehrt werden.

Man könnte vielleicht einwenden, die Versuche von Kaufmann (Archives de Physiologie normale et pathologique Jahrgang 1895 bis 1897) und Anderen über kombinirte Durchschneidungen bildeten einen Gegenbeweis gegen die Annahme des elektrolytischen Diabetes. Diese Forscher haben gefunden, dass man durch bestimmte Kombinationen von Kontinuitätstrennungen einzelne Stiche unwirksam machen kann. Wenn beispielsweise Leber oder Pankreasdrüse einzeln ausgeschaltet werden, entsteht Diabetes, wenn sie gleichzeitig exstirpirt werden, entsteht kein Diabetes. Nun

ist es sehr leicht möglich, dass die Leber allein im Stande ist, dem Blute Zucker zuzuführen, die meisten Physiologen haben aus ihren Versuchen diesen Eindruck gewonnen. Allein selbst wenn die Leber im Zuckerverkehr des Organismus nicht diejenige wichtige Rolle spielen würde, die man ihr allgemein zuschreibt, kann man sich leicht vorstellen, dass durch gewisse Kombinationen von Stromunterbrechungen die elektromotorische Kraft eines Systems steigt und nicht fällt. Es ist übrigens unnütz, bei dem heutigen Stande dieser Frage, Detail-Einwände zu widerlegen, ich wäre froh, wenn ich einen ordentlichen Einwand allgemeiner Natur gegen meine elektrochemische Anschauung finden würde. Es giebt ja so selten Wahrheiten, die ganz offen und ohne Einwände zu Tage liegen. Allein, trotz eifrigen Studiums der hierher gehörigen Literatur kann ich keinen ernstlichen Gegenbeweis finden, im Gegentheil, jede neue Untersuchung bringt neue Experimente zu Gunsten meiner Annahme. So hat man in allerjüngster Zeit Lichtbäder gegen Diabetes angewendet, während man fast gleichzeitig in der physikalischen Forschung darauf gekommen ist, dass Lichtstrahlen die Leitfähigkeit komplizirt zusammengesetzter Lösungen erhöhen. Ferner hat A. d'Arsonval Diabetiker mit Wechselströmen behandelt.[1])

III. Muskelmodelle.

In meiner ersten Arbeit habe ich den Gedanken ausgesprochen, dass die Muskelkontraktion nicht auf einer spezifischen Kontraktilität des Protoplasmas beruht, sondern eine sehr einfache elektrochemische Erscheinung darstellt. Bei allen Elektrolysen organischer Stoffe wird Kohlensäure ausgeschieden,[2]) ohne Ausnahme, auch wenn die einwirkenden Ströme noch so schwach sind. Es muss daher auch bei der Wirkung eines elektrischen Reizes auf den Muskel Kohlensäure entwickelt werden und die Entwicklung dieser Säure konnte bisher in der That in allen Fällen während der Muskelthätigkeit beobachtet werden.

Bis hierher ist nichts zweifelhaft. Ich glaubte nun, annehmen zu dürfen, dass die Muskelwand dem Entweichen der Kohlensäure einen Widerstand entgegensetzt, welcher gerade gross genug ist, um der Muskelzelle unter dem Einflusse des gleichmässigen inneren Gasdrucks die Tendenz zu verleihen, sich der Kugelgestalt zu

---

1) Elektrochem. Zeitschrift, 1897/98, IV, p. 43.

2) Löb, Unsere Kenntnisse in der Elektrolyse organ. Verbindungen, Halle 1896.

nähern, d. h. sich zu verdicken und verkürzen.[1]) Es ist ja sehr naheliegend, dass die Muskelwand nicht gasdicht ist, jedoch dem Durchgang der Kohlensäure einen gewissen Widerstand entgegensetzt, wodurch die Fibrillen die Tendenz erhalten müssen, sich im Verhältniss von maximal 1 : 1.57 $\left(1 : \frac{\pi}{2}\right)$ zu verkürzen.

Wenn dem so ist, so muss das Kautschukmodell eines Muskels sich durch elektrische Reizung sehr leicht zu Kontraktionen bringen lassen. Dies ist mir auch nach langen Versuchen gelungen, als ich mich von dem Irrthum befreit hatte, das Material des natürlichen Muskels sei besonders elastisch. Bisher hat man immer den Muskel für ein ganz besonders elastisches Gewebe gehalten, obwohl nur die theoretische ganz äusserliche Spekulation und nicht der anatomische Befund darauf hinweisen. Das theoretische Vorurtheil bestimmt den Experimentator, manchmal gerade das Gegentheil von dem, was wirklich vorliegt, zu sehen. Man kann sagen, dass alle Gewebselemente der Pflanzen und Thiere elastischer sind als gerade die Muskeln, dies zeigt nicht nur die unbefangene anatomische Betrachtung, sondern es liegt gerade im Wesen der Kontraktilität, dass sie nur an relativ unelastischen Körpern auftreten kann. Wäre die Muskelwand elastisch wie Gummi, so würde sie sich bei der Verdickung gleichzeitig verlängern anstatt sich zu verkürzen. Gerade die Fibrillen, welche man als das Allerelastischeste in dem elastischen Muskelgewebe anzusehen gewohnt war, müssen ziemlich unelastisch sein, da sowohl in der Natur wie beim Modell eine Kontraktion ohne unausdehnsame Fibrillen nicht möglich ist. So zeigt es sich, dass scheinbar nebensächliche Details der Anatomie wie die fibrilläre Struktur des Muskels für das Zustandekommen der Muskelaktion wesentlich sind. Man muss also die Kautschukzelle mit einem Netz aus Bindfaden umgeben, um mit der Verdickung eine Verkürzung und nicht eine Verlängerung zu erhalten. Je mehr sich die Bindfaden-Fibrillen der natürlichen Anordnung nähern, desto leichter gelingt der Versuch, ein weiterer Fingerzeig dafür, dass wir auf dem richtigen Wege sind.

1) Als ich diesen Gedanken veröffentlichte, glaubte ich ihn zuerst gefunden zu haben, da in der physiologischen Literatur nichts dergleichen erwähnt wird. Inzwischen hörte ich, dass Hofrath v. Radinger, Prof. an der Wiener technischen Hochschule, seinen Hörern gegenüber diese Idee viel früher ausgesprochen hat; v. Radinger erzählte auch, wie schwer es sei, Physiologen von Fach von der einwandsfreien Richtigkeit dieser Anschauung zu überzeugen, weil ihnen die Grundlage für das Verständniss elektrischer Erscheinungen abgeht. Er hat auch eine Theorie der Muskelermüdung skizzirt, aber bisher nicht veröffentlicht.

Die Kautschukzelle kann man mit einem beliebigen organischen oder anorganischen Leiter füllen. Es muss darauf gesehen werden, dass die Zelle ganz mit dem Elektrolyten gefüllt ist und man wird am Besten während des Versuchs Flüssigkeit durch einen durchbohrten Kautschukstöpsel oben nachfüllen. Wenn die Elektroden aus der Flüssigkeit herausgerissen werden, was bei unvorsichtiger Kontraktion leicht geschieht, so kann der überspringende Funke das elektrolytisch entwickelte Knallgas zur Explosion bringen. Bei den grossen Stromstärken und Spannungen, mit denen man zu arbeiten gezwungen ist und bei unorganischem Elektrolyten, wobei immer Knallgas entsteht, ist also der Versuch sehr gefährlich. Der Versuch gelingt mit gewöhnlichen Collodiumballons, wie sie für Kinderspielzeuge in den Handel kommen, und mit den meisten anderen Gummiartikeln. Es muss nur durch eine gleichsam fibrilläre Anordnung von festem Spagat verhindert werden, dass der Ballon sich gleichzeitig mit der Verkürzung verlängert. Verwendet man ein Kautschukgewebe mit unelastischen Einwebungen, z. B. den Stoff der pneumatischen Reisepolster, so erhält man auch ohne Spagatfibrillen sehr schöne Kontraktionen.

Jeder gleichmässig dicke Kautschukballon nimmt die Gestalt eines Muskels mit Muskelbauch und Sehnen an, wenn er aufgeblasen und belastet wird. Man kann dann durch elektrolytische Gasentwicklung innerhalb der Zelle alle Kontraktionserscheinungen wie beim natürlichen Muskel demonstriren: Tonus, einfache Kontraktion, Tetanus. Selbst die sogenannten idiomuskulären Kontraktionen werden sich mit einiger Mühe demonstriren lassen. Die Muskelmodelle erwärmen sich während ihrer Thätigkeit und scheiden wie die natürlichen Muskeln Kohlensäure aus, das Letztere natürlich nur, wenn sie mit organischen Leitflüssigkeiten gefüllt sind.

Alle diese Versuche sind äusserst mühsam und erfordern sehr starke Ströme,[1]) weil die künstliche Modellirung eines Muskels natürlich nicht einmal die rein äusserlichen mechanischen Vorzüge der Muskelanatomie nachahmen kann, viel weniger aber die bisher noch unerforschten inneren Details der Muskelorganisation. Meine Muskelmodelle haben auch gegenüber ihren Vorbildern den fundamentalen Fehler, dass sie ganz von aussen mittels zugeführter

---

1) Meine Versuche wurden mit Hülfe des Herrn Elektro-Ingenieurs Fritz Löwenstein und meines Bruders Fritz mit der Dynamomaschine des Elektricitätswerkes in Schlackenwerth ausgeführt.

elektrischer Energie betrieben werden müssen, während die natürlichen Apparate nur eines elektrischen Reizes bedürfen, um ihre in ihrem Innern aufgespeicherten und vom Blute zugeführten chemischen Spannkräfte zu entfesseln. Indessen ist dieser Fehler nur technischer und praktischer Natur. Theoretisch — und mit einigen Kosten auch praktisch — kann man sehr wohl Modelle herstellen, welche auf einen blossen Reiz hin im Innern der Zelle angeordnete chemische Spannkräfte in Muskelenergie überführen. Theoretisch ist es schon heute möglich, Muskelmodelle herzustellen, welche ihre Energie der Oxydation beispielsweise von Kohlehydraten verdanken, und die technischen Schwierigkeiten eines solchen Apparates werden an der Hand der heutigen elektrochemischen Praxis nicht mehr unüberbrückbar sein. Allein die Anordnung, die sich genau an die Natur anlehnt, hat immerhin nur einen Demonstrationswerth und ist für die Ausführung von physiologischen Untersuchungen wenig geeignet. Einerseits gelingt es sehr schwer, die Modelle gasdicht zu machen, dann wieder müssen Stromstärke und Spannung tausendmal grösser sein als bei den natürlichen Muskeln. Ferner sind die Kontraktionen ungleichmässig wegen der wechselnden Elasticität des Materials und verschiedenen andern unberechenbaren Umständen. Schliesslich kann man den Strom einer Dynamomaschine aus Gründen elektrotechnischer Natur nicht auf einmal zur Wirksamkeit bringen, ohne die Maschine zu gefährden. Ich glaube, dass es sich für Versuche mit physiologischen Säften empfehlen wird, die Gasentwicklung pro Zeiteinheit und die Temperatur in einem gewöhnlichen Voltameter zu messen und ich verspreche mir von solchen Versuchen die grössten Erfolge für Physiologie und Pathologie. Hier muss ich etwas weitschweifig werden, um dem in der Physiologie gegenüber neuen Theorien landläufigen Skepticismus, der angesichts ihrer bisherigen Methoden allerdings nicht unberechtigt ist, zu begegnen.

IV. Der pathologische Stoffwechsel.

Mit sehr viel Ueberwindung gehe ich an die Aufgabe, hier meine Anschauungen über die Methode der heutigen allgemeinen Pathologie zu skizziren. Ich weiss sehr wohl, wie rasch unwissende Beurtheiler mit einem absprechenden Urtheil fertig sind, ich weiss sehr wohl, wie unsympathisch den Medizinern alles ist, was neuen Hypothesen auch nur ähnlich sieht. Seit mehr als hundert Jahren sind fast eben so viel neue Hypothesen über Fieber

und Diabetes aufgetaucht und alle haben wieder verschwinden müssen. In den modernen Handbüchern der Physiologie und Pathologie beschränkt man sich darauf, die Erscheinungen nur mehr zu beschreiben und eine Erklärung überhaupt nicht einmal zu versuchen, weil die Thatsachen nun einmal für Leute, denen die Grundbegriffe der Dissoziationslehre mangeln, einfach unerklärbar sind. Wenn nun Einer kommt und mit einem Schlage so komplizirte Materien aufhellen will, so muss er natürlich das stärkste Misstrauen wecken. Ich würde auch viel lieber gleich Alles experimentell untersuchen und dann Schritt für Schritt die aufgehäuften Irrthümer berichtigen. Indessen diese Arbeit kann von einem Einzelnen nicht geleistet werden und ich muss daher Vieles ungesagt lassen und mich darauf beschränken, hinzuweisen, dass Fieber und Diabetes unter bestimmten elektrochemischen Bedingungen, die sich mit den natürlichen Ursachen decken, sich in meinen Muskelmodellen erzeugen lassen müssen. Ich selbst habe solche Versuche aus rein persönlichen Gründen noch nicht anstellen können, aber jeder Elektrochemiker weiss, dass sie gelingen müssen.[1]) Einmal angenommen, dass alle Nahrungsstoffe elektrolytisch oxydirt werden, eine Annahme, die sich auf unzähligen rein physiologischen Thatsachen aufbaut, so braucht man für die Pathologie keine weitere Annahme. Es folgt daraus schon, dass die thierische (und pflanzliche) Wärme diejenige Widerstandswärme ist, wie sie sonst nur in solcher Gleichmässigkeit in galvanischen Elementen auftritt, es folgt auch daraus, dass unter den Umständen, unter denen Fieber und Diabetes in der Natur auftreten, die pathologischen Erscheinungen aus elektrochemischen Gründen da sein müssen, auch in solchen Fällen, wie bei Hefepilzen beispielsweise, wo solche Krankheiten bisher nicht beobachtet wurden. Während die pathologischen Erscheinungen allen physiologischen Theorien widersprechen und sich durch keinerlei phantastische Hypothesen in das alte System einzwängen lassen, kann man sie also auf Grund längst sichergestellter phy-

---

1) Nichts ist leichter, als den Gedanken, ein künstlicher Homonunculus müsse unter denselben Bedingungen wie eine natürliche Organisation Krankheitserscheinungen aufweisen, ins Lächerliche zu ziehen, obwohl viele galvanische Elemente, z. B. dasjenige von Grove, sehr leicht in einen Zustand gerathen, in dem sie abnormal viel Wärme und abnormal wenig ableitbare Kraft produziren. Auch Chromsäure-Elemente erhitzen sich unter gewissen Umständen, die den natürlichen Ursachen des Fiebers analog sind, sehr stark.

sikalischer Gesetzmässigkeiten selbst da voraussagen, wo sie noch gar nicht beschrieben wurden.

Wenn man zwei Muskelmodelle mit Blut füllen wird und in dem einen Hühnereiweiss zufügt, welches beim Einbringen in die natürliche Blutbahn sofort Fieber und Glykosurie erzeugt, so wird auch unter sonst gleichen Umständen der Muskel mit dem Eiweiss wegen dessen schlechter Leitfähigkeit die Temperatur erhöhen und Stromstärke, Gasentwicklung und damit die Muskelkraft herabsetzen. Jeder neue Widerstand, der in ein elektrisches System gebracht wird, erhöht die Wärmeentwicklung und setzt die Stromstärke herab. Bei demselben oder bei grösserem Energieverbrauch kann also die Leistungsfähigkeit des elektrischen Apparates zu Gunsten der Wärmeerzeugung sinken. Ebenso wie meine Modelle sich während der Thätigkeit erwärmen, so müssen auch die physiologischen Leitflüssigkeiten sich erwärmen, auch unter nichtpathologischen Verhältnissen. In der That hat man bei Gesunden während und unmittelbar nach Muskelanstrengungen bis 40,0 Körpertemperatur beobachten können. Aehnlich wie im Thierkörper muss auch beim Einbringen eines Eiweisswiderstands in das Modell die Zuckeroxydation herabgesetzt werden. Bekanntlich sind alle Zuckerarten, besonders in Konzentrationen von mehreren Promille, sehr schwer oxydirbar, weil sie nur in ganz verdünnten Lösungen, wenn sie dissoziirt sind, die Elektricität leiten. Wenn also die Konzentration des Zuckers über ein sehr niedriges Maximum steigt oder die elektromotorische Kraft unter ein bestimmtes Minimum herabgeht, so wird zuerst die Zuckeroxydation herabgehen oder aufhören. Man kann sogar voraussagen, dass gewisse Heilmethoden oder therapeutische Mittel auf meine Muskelmodelle eine ähnliche Wirkung zeigen werden wie auf den natürlichen Organismus. Man braucht dazu nicht einmal die vollständigen Modelle, denn schon ein einfaches Voltameter wird erkennen lassen, ob gewisse Mineralwässer und Antipyretika durch Aenderung der Leitfähigkeit des Blutes wirken oder nicht.

Man mag übrigens über die Ursachen allgemeiner Krankheitszustände denken was immer, das Eine ist zweifellos: So lange, als die Pathologen von physikalischer Chemie, insbesondere von Elektrochemie, so gut wie nichts wissen, so lange werden sie nur dilettantisch hin- und herrathen können und zu keiner richtigen allgemeinen Erkenntniss gelangen. Es ist doch unmittelbar einleuchtend, dass zu allererst eine intime Kenntniss der Molekularphysik nothwendig ist, damit Einer ein Recht

hat, über die Einwirkung physikalischer Agentien auf chemische Substrate zu urtheilen.

Wenn nichts Anderes die Pathologen bestimmen kann, sich mit den Forschungen der Dissoziationstheoretiker zu beschäftigen, so sollte der Misserfolg derjenigen, die bisher die pathologischen Spezialgebiete ohne die genaue Vertrautheit mit der allgemeinen Chemie bearbeiteten, sie dazu bestimmen. Was ist nicht alles über Diabetes mellitus zusammengeschrieben worden! Welcher Aufwand von Scharfsinn, Fleiss und Ausdauer ist da vergeudet worden! Ueberblickt man die Resultate dieser kolossalen Forschungsarbeit, so findet man, dass eigentlich nichts weiter erzielt wurde, als dass die schlechtesten Hypothesen widerlegt wurden.[1])

---

1) Die allerneueste Broschüre über Diabetes ist „Die pathologisch modifizirte Fermentwirkung bei Zuckerkranken" von Dr. med. Carl Scherk in Bad Homburg, Halle 1898. Ich glaube nicht, dass die Darlegungen Scherks irgendwo Beachtung finden werden, allein die Fehler dieses Autors sind so typisch für die Arbeitsweise vieler Physiologen und Pathologen, dass ich es mir nicht versagen kann, etwas näher darauf einzugehen. Dr. Scherk hat — wahrscheinlich in der Zeitung — von den sensationellen Experimenten Buchners gelesen und weiss jetzt, dass Gährung ohne Hefezellen möglich ist. Er ist sofort bereit, die Konsequenzen dieser Thatsache für den Diabetes zu ziehen und schreibt eine 42 Seiten lange Broschüre darüber, weil er irgendwo gelesen hat, dass Diabetes unbedingt die Folge einer pathologisch modifizirten Fermentwirkung ist. Es stört ihn dabei gar nicht, dass Nervendurchschneidungen in fast allen wichtigeren Theilen des Organismus augenblicklich auf das Ferment einwirken müssten und dass Spitzer experimentell gezeigt hat, dass normales und diabetisches Blut in seiner glykolytischen Wirkung keine Differenz erkennen lässt. Das Typische an diesem Fall ist, dass die Mediziner stets sofort bereit sind, auf sensationelle Neuheiten zu reagiren, wie Röntgenstrahlen oder Buchners Gährung. Nicht etwa, als ob ich versuchen wollte die Bedeutung der Entdeckungen von Röntgen und Buchner zu verkleinern, aber es liegt doch auf der Hand, dass die revolutionären Thatsachen allgemeiner Natur, welche von den Dissoziationstheoretikern gefunden wurden, viel wichtiger für die biologischen Wissenschaften sind als die mehr speziellen Erfolge der Vorgenannten. Freilich, die einen liest man in den wissenschaftlichen Journalen und versteht sie zur Noth, die andern erfordern jahrelange Studien und sind dabei nicht so sensationell. Eine ähnliche Studie veröffentlichten in jüngster Zeit T. Lander Brunton und J. H. Rhodes im Centralblatt f. Physiologie (1898, 12, p. 353) „Ueber glykolytische Enzyme in den Muskeln".

Pflanzenphysiologisches.

In der Thierphysiologie konnte man auf die Versuche von Drechsel hinweisen, um darzulegen, dass schon lange vor der grossartigen Entwicklung der physikalischen Chemie, welche vom Jahre 1886, dem Erscheinen von Ostwalds erstem grossen zusammenfassenden Lehrbuche,[1]) ihren Ausgangspunkt nimmt, die enorme Wichtigkeit der Elektrochemie für die Erklärung äusserlich unelektrischer Vorgänge von vorausblickenden Physiologen betont wurde. In der Pflanzenphysiologie war es Heinrich Putz, der schon im Jahre 1886 die Unhaltbarkeit der bisherigen Chlorophyllhypothesen mit logischer Schärfe darlegte und eine elektrochemische Theorie der pflanzlichen Assimilation skizzirte.[2])

Putz fand nach der Zusammenstellung am Schlusse seiner Arbeit:

1. Die bisher von den verschiedenen Forschern kundgegebenen Ansichten über die Mechanik der Kohlensäurereduktion

---

1) Erschienen 1885 bis 1887.

2) Die Arbeit von Putz (Chem. Central-Blatt 1886 S. 774) ist im Original im Buchhandel nicht mehr erhältlich. Ich habe mich vergeblich auch an das Königliche Lyceum in Passau gewendet, in dessen Jahresbericht 1885/6 sie erschienen ist. Man ist also nur auf das Referat im Chem. Central-Blatt angewiesen; glücklicherweise ist dieses Referat, auf das ich durch einen Hinweis in Pfeffers Handbuch geführt wurde, ziemlich ausführlich. Pfeffer thut Putz' elektrochemische Theorie neben anderen „Einfällen" und „hingeworfenen Ideen" ab, ein sehr merkwürdiges Vorgehen für Professor Pfeffer, dem die physikalische Chemie wichtige Untersuchungen über Osmose zu verdanken hat. Es ist eben die natürliche Folge der unter Botanikern im Allgemeinen vorherrschenden Nichtbeachtung der elektrochemischen Forschung, dass selten Einer einen hingeworfenen Einfall von Folgerungen unterscheidet, die sich streng logisch auf bekannten physikalisch-chemischen Fundamentalgesetzen aufbauen. Unter andern Umständen hätten die Folgerungen Putz' eine neue, fruchtbare Epoche in der Pflanzenphysiologie eingeleitet.

können zur Zeit noch nicht durch erfahrungsgemässe Thatsachen genügend gestützt werden, um eine Theorie zu begründen.

2. Die Kohlensäure wird weder für sich noch bei Gegenwart leicht oxydirbarer Substanzen durch das Licht zersetzt.

3. Die Thatsache, dass die mit Chlorophyll ausgestattete Zelle Sauerstoff ausscheidet, obwohl in jeder Zelle leicht oxydirbare Verbindungen vorhanden sind, und obwohl der aus einer Verbindung austretende Sauerstoff bei Gegenwart oxydirbarer Verbindungen sich gewöhnlich mit diesen verbindet, wird nur begreiflich, wenn die Bildung der Reduktionsprodukte aus der Kohlensäure und die Abscheidung des Sauerstoffs räumlich getrennte Vorgänge in der Zelle sind.

4. Von allen uns bekannten Kraftformen ist die Elektricität die einzige, durch welche chemische Verbindungen so zerlegt werden, dass die Bestandtheile an verschiedenen Orten auftreten. (Diese Beweisführung ist ebenso originell wie richtig.)

5. Die Umwandlung von Licht in Elektricität erscheint nicht nur theoretisch möglich, sondern es sind auch bereits Thatsachen bekannt, denen diese Energieumwandlungen zu Grunde zu liegen scheinen. —

Seit 1886 hat man längst die Umwandlung von Licht in Elektricität auch praktisch, und zwar nach mehreren verschiedenen Systemen durchgeführt, indem man bei der Zersetzung lichtempfindlicher Platten die betreffenden Ströme ableitete. Professor Minchin[1]) hat sogar ohne Zersetzungsvorgänge mit seinem Seleno-Aluminium-Element Licht in Elektricität umgewandelt.

Putz legt weiterhin seine Ansichten über den Mechanismus der Kohlensäurereduktion dar. So lange die alten elektrochemisch unhaltbaren Ideen über die Pflanzenassimilation noch nicht überwunden sind, ist es jedoch zwecklos, darauf näher einzugehen. Es muss nur noch erwähnt werden, dass wenige Monate, nachdem Putz die Konsequenzen der Hypothese von der elektromagnetischen Natur der Lichtstrahlen für die Pflanzenphysiologie gezogen hatte, Hertz durch seine berühmten Versuche diese Hypothese fast zur Gewissheit machte.[2])

---

1) Philosophical Magazine Vol. 31, p. 207.

2) E. Lecher, Die Versuche von H. Hertz über den Zusammenhang von Licht und Elektricität, Wien 1890; Heinrich Hertz, Untersuchungen über die Ausbreitung elektrischer Kraft, Leipzig 1892; P. Drude, Physik des Aethers, Stuttgart 1894.

Ferner darf nicht unerwähnt bleiben, dass das Hypothetische in der Arbeit von Putz noch mehr reduzirt wird dadurch, dass wir heute bestimmt wissen, dass in der Pflanzenzelle elektrochemische Vorgänge von den Lichtstrahlen ausgelöst werden müssen. Jede ungleichartige Lichtabsorption, jede Konzentrationsänderung, jede Oxydation und Reduktion muss gesetzmässig Thermoströme, Konzentrationsströme, Oxydations- und Reduktionsketten in Betrieb setzen oder von solchen Strömen selbst erst verursacht sein Nirgendwo in der Schöpfung giebt es eine sekundäre Kraft, eine nebensächliche Energie, die nur vorhanden ist und nichts Wichtiges vollbringt und die Elektricität, diese vielseitigste und an Erscheinungen reichste aller Energieformen, ist gerade die letzte, der man solches Stillsitzen zutrauen könnte. So lange aber ein solches Vorurtheil, welches nur der Nichtbeachtung der elektrochemischen Forschung zu danken ist, besteht, so lange wird die Physiologie keine ordentlichen Fortschritte machen, denn dieses Vorurtheil verhindert eine mit ordentlicher wissenschaftlicher Sorgfalt ausgeführte Untersuchung auch auf Gebieten, die scheinbar ganz unelektrisch sind. So habe ich in meiner Arbeit über Wurzelausscheidungen zeigen können, dass die Untersuchungen von Czapek und Molisch über Wurzelausscheidungen noch einmal elektrochemisch revidirt werden müssen, weil auf Ionenreaktionen zu wenig Rücksicht genommen wurde. Die „Ausscheidungen“ der Wurzeln an die Bodenflüssigkeit sind nichts Anderes als umgekehrt elektrolytische „Ausscheidungen“ der Bodenflüssigkeit an die Wurzeln. Selbst metallische Gaskandelaber weisen mitten im alkalischen Kalkboden saure „Wurzelausscheidungen“ aus, wenn sie von der Sonne stark beschienen werden.

Der Apparat, mit dem ich die elektrolytische Natur der Wurzelsekrete zeigte, wird wegen seiner Einfachheit vielleicht auch zweckentsprechend für thierphysiologische Versuche sein.

Mein Apparat besteht ganz einfach aus einer U-Röhre mit einem Farbstoffindikator. Ist das Sekret eine wirkliche Ausscheidung, so würde die U-Röhre nur die Reaktion des Sekretes zeigen, bei Wurzeln und Lackmus würde die ganze Lackmuslösung geröthet werden. Es zeigte sich jedoch, dass, wenn man mit den sauren Wurzeln die U-Röhre behandelt, man am entgegengesetzten Schenkel der Röhre eine Bläuung des rothen Lackmus erhält. Anfangs habe ich das andere Ende mit der Erde leitend verbunden, um die natürlichen Verhältnisse nachzuahmen und die Wirkung der atmosphärischen Elektricität nicht zu vernachlässigen. Der

Versuch gelingt jedoch ebensogut mit vollständig isolirter U-Röhre. Ja, man kann ihn bei Feldkamillen sogar drei- oder viermal umkehren, wobei die Elektrolyse der Röhre besonders deutlich hervortritt. Ist das eine Ende der U-Röhre tiefroth und das andere ganz violett, so ist es ganz besonders überraschend, wie bald die Farben nach dem Umstecken der Pflanzen in den andern Schenkel der Röhre sich umkehren. Man könnte die Umkehrung auch öfter vornehmen, wenn die Wurzeln den Farbstoff nicht zu schnell absorbiren würden.

Dieser Versuch beweist, dass die Wurzeln im Boden elektrolytisch die Dungsalze absaugen, wobei noch zu bemerken ist, dass es — nach dem gegenwärtigen Stande der physikalischen Forschung — überhaupt keine andere Energie giebt, welche einer verdünnten Lösung die letzten Spuren gewisser Stoffe entziehen kann, als die elektrische. Der Versuch beweist aber ferner, dass an allen gut leitenden kontinuirlichen Bodentheilchen und Pflanzenresten durch die Elektrodenwirkung der Pflanzenwurzeln elektrolytische Oxydationen und Reduktionen geschehen müssen, was für die Theorie der Salpeterbildung ohne Bakterien und für die Theorie der Torf- und Kohlenbildung später einmal vielleicht neue Anhaltspunkte liefern wird.

Ich wollte experimentell der Vermuthung nachgehen, dass die Wurzeln bei Nacht eine der Tagesrichtung entgegengesetzte Stromrichtung haben, eine Vermuthung, auf welche viele Thatsachen und auch einige meiner Versuche hindeuten. Indessen übersteigt die experimentelle Entscheidung dieser Frage die Kräfte eines Einzelnen. Jede Pflanzenart hat, wie es scheint, ihre Besonderheiten in Stromstärke, Spannung und sogar in der Stromrichtung. Bei der Verschiedenheit des anatomischen Baues der Pflanzen ist diese Thatsache nicht überraschend, wenn ich auch nach meinen ersten Versuchen an eine grössere Gleichmässigkeit in elektrischer Beziehung geglaubt habe. Sogar die Art der Wirkung eines grösseren oder kleineren Turgors beeinflusst verschiedene Pflanzen verschiedenartig.

Literatur der physikalischen Chemie, insbesondere Elektrochemie.

Die meisten Physiologen werden wohl Ostwalds grosses und kleines Handbuch der „Allgemeinen Chemie", beide bei Engelmann, Leipzig, gar nicht oder nur oberflächlich kennen. Und es ist unbedingt nothwendig, dass Jeder, der an ein biologisches Experiment denkt, sich wenigstens mit dem Inhalte des „kleinen Ostwald" vollständig vertraut macht. Der „kleine Ostwald" behandelt die Energetik der Chemie mit elementarer Mathematik; er ist aber nicht nur sehr leichtverständlich, sondern geradezu spannend geschrieben.

Ausserdem ist Nernst, Theoretische Chemie, Stuttgart 1893, empfehlenswerth.

Ferner empfiehlt Ostwald im 17. Bande seiner Zeitschrift für physik. Chemie, Seite 754 H. Griesbachs (Leipzig, Engelmann, 1895) Physikalisch-chemische Propädeutik unter besonderer Berücksichtigung der medizinischen Wissenschaften.

Von der allgemeinen Chemie haben die Mehrzahl der Physiologen wohl schon einen Begriff; was aber Niemand unter ihnen, nicht einmal die Spezialisten für „Elektrophysiologie" kennen, das sind die Fortschritte der wissenschaftlichen Elektrochemie.

Ich könnte eine ganze Reihe physiologischer und physikalischer Autoritäten bezeugen lassen, dass ich nicht übertreibe, wenn ich behaupte, man kümmere sich gar nicht um die Fortschritte der wissenschaftlichen Elektrochemie, insbesondere um die der organischen Elektrochemie, welche für die Lehre vom biologischen Organismus so überaus wichtig ist. An der einfachsten Zelle können wir alle elektrochemischen Erfindungen bewundern, die die technischen Elektrochemiker mit der grössten und eifrigsten Arbeit im Laufe des letzten Jahrhunderts gemacht haben. Ich habe in meiner „Physiologischen Elektricität" gezeigt, wie alle elektrochemischen Erfindungen, das Diaphragma, die Elektrolyse mittels der eigenen potentiellen chemischen Energie, der Sauerstoffüberträger, die Bewegung des Elektrolyten, alles sehr neue und allerneueste Erfindungen, in der Zelle schon vorgebildet sind, wenn man von der einzigen Annahme ausgeht, dass die Lebensprozesse beabsichtigte elektrochemische Reaktionen sind. Sicherlich wird jede neue elektrochemische Entdeckung

und Erfindung uns die wundervolle Organisation der einfachsten Zellen noch besser verstehen lernen.

Das elektrolytische Verfahren ist das einfachste, mittels welchem man mit den denkbar primitivsten Apparaten die komplizirtesten Synthesen und Substitutionen aufbauen kann, und es findet aus diesem Grunde in die Praxis der organischen Technik und Farbenchemie mehr und mehr Eingang.

Vor den Arbeiten Dr. Walther Löbs wussten die meisten Elektrochemiker sehr wenig von der grossen Vorarbeit, welche die organischen Chemiker in elektrochemischer Hinsicht geleistet haben, weil die betreffende Literatur zu sehr zerstreut war. Die Geschichte der organischen Elektrochemie ist in Folge dieser Umstände und der grossen Schwierigkeit rationeller Versuchsanordnung auch nicht die einer stetigen Entwicklung, wo jeder Nachfolgende auf den Schultern seiner Vorgänger steht. Da ist Löb aufgetreten und hat in Zeitschriften, Broschüren und Versammlungen für organische Elektrochemie agitirt, indem er die ganze betreffende Literatur unter theoretische Gesichtspunkte ordnete und den Weg zum Weiterarbeiten zeigte. Gegen seine theoretischen Zusammenfassungen ist nichts einzuwenden, ich glaube aber, dass sein Hauptverdienst darin liegt, im richtigen Augenblick weite Kreise auf die organische Elektrochemie aufmerksam gemacht zu haben. In einem gewissen Stadium der Aufdeckung neuer Gebiete der Wissenschaft scheint es mir viel wichtiger, das Gefundene zu sammeln und durch eine energische Agitation zu popularisiren als unbeachtet an dem theoretischen Ausbau weiter zu arbeiten. Wäre die Lebensarbeit eines Ostwald oder Arrhenius nur halb so populär wie die Röntgens, so stünde es heute anders um die Physiologie.

Wer sich auch nur ein bischen mit den Ergebnissen der organischen Elektrochemie vertraut macht, wird überrascht sein von dem weitgehenden Parallelismus zwischen Problemen der Physiologie und Thatsachen der organischen Chemie. Fast alle Produkte biologischer Prozesse lassen sich sehr leicht aus den betreffenden Nährstoffen elektrolytisch aufbauen. Man fühlt sich versucht, hunderte von Hypothesen über hunderte von physiologischen Problemen aufzustellen und es ist ganz zweifellos, dass die Bekanntschaft mit der organischen Elektrochemie den experimentellen Biologen reichen Gewinn bringen wird.

Aus den Literaturübersichten von Walther Löb, „Unsere Kenntnisse in der Elektrolyse und Elektrosynthese organischer Verbindungen“, Encyklopädie der Elektrochemie, Band 8, Halle, Knapp, 1896 und Franz Petters, Organische Elektrochemie, Elektrotechnische Bibliothek, Band L, Leipzig, Hartleben, 1898, habe ich einige für Physiologen interessante Arbeiten herausgenommen.

Ueber Elektrolyse von Zuckern schrieben:

A. Renard, Ann. chim. phys., 1879, V., 17, p. 289, p. 316. Glykose.

A. Brester, Bull. soc. chim., 1866, VIII, p. 23. Saccharose.
Gin, Bull. soc. int. électr., 1896, 12, No. 119; Elektrotechn. Zeitschrift, 1896, 3, p. 33. Saccharose.

Ueber Stärke, Dextrin, Gummi, Collodium schrieb:

A. Brester wie oben.

Ueber Harnstoff-Elektrolyse berichtet:

Drechsel, Chem. Ber., 1880, 13, p. 2436.

Ueber Säuren liegt eine unübersehbare Literatur vor. Die modernsten synthetischen Säureelektrolysen beschrieben:

A. Crum Brown und J. Walker, Liebigs Annalen, 261, p. 107.
Mulliker, Americ. chem. Journ., 15, p. 523.
Weems, Americ. chem. Journ., 16, p. 569 bis p. 588, „Ueber Elektrosynthesen durch unmittelbare Verbindung der Anionen schwacher Säuren."
W. v. Miller und Hofer, Ber. d. deutsch. chem. Ges., 1895, 28, p. 2127, auch 27, p. 461; Zeitschrift f. Elektroch., 1897, 4, p. 55.

Alkaloide wurden elektrolysirt von

Donato Tommasi, Traité Théorique et Pratique d'Électrochimie, Heft 4, p. 788.
Bourgoin, Bull. soc. chim. (1869) 12, p. 400.
H. Pommerehne, Arch. Pharm. (1897) 235, p. 364.
R. Wolffenstein und E. Bandow, Deutsch. Patent 94949 vom 29. Jan. 1897.
v. Babo, Journ. f. prakt. Chemie (1857) p. 72, 73.

Blut und Eiweiss von Dumas, Prevost nach Löb, „Unsere Kenntnisse etc." p. 39. Nähere Literaturhinweise fehlen.

Ueber Elektroagrikultur berichten:

W. v. Hamm, Zeitschrift f. Elektrotechn., 1888, 9, p. 389.
Barat, Électricien, 1891 [2], 2, p. 188.
Bachmann, Elekt. Anzeiger, 1892, p. 258.
Delétrez, Électricien, 1891 [2], 2, p. 258.
Courtenay, Engl. Pat. 8305/1892.
Lagrange, Bull. soc. belge d'électr., 1892, p. 357.
Hatch Experimental Station, The Telegr. Journ. and Electr. Review, 1892, 30, p. 223.
Schumacher-Kopp, Chem. Ztg. 1894, 18, p. 1700.
J. Leicester, Chem. News and Journ. of phys. science, 1892, 65, p. 63.
H. N. Warren, Chem. News a. Journ. of phys. science, 1889, 59, p. 174.

Ueber allgemeine Elektrochemie existiren viele moderne und ausführliche Handbücher und zwar:

Leblanc, Lehrbuch der Elektrochemie, VIII, 226 S., Leipzig, Leiner, 1896, ℳ 4,80. Dieses Lehrbuch ist von Ostwald warm empfohlen.

Lüpke, Grundzüge der wissenschaftlichen Elektrochemie auf experimenteller Basis, VIII, 150 S., Berlin, Springer, 1895, ℳ 3.

Jahrbücher der Elektrochemie, Halle, Knapp.

Jahn, Grundriss der Elektrochemie, Wien, A. Hölder, 1895, ℳ 8,40. Seit 1895 sind, wenn ich nicht irre, neue Auflagen dieses Buches erschienen. Jahn hat einen guten Namen in der Elektrochemie, für Physiologen ist jedoch seine Darstellungsweise nicht geeignet, wenigstens die 1895er Auflage nicht.

Löb, Grundriss der Elektrochemie, Leipzig (Webers Katechismen) 1897, ℳ 3. Ostwald beanstandet in diesem Buche, dass Einiges nicht auf der Höhe der Zeit steht. Für Physiologen dürfte aber Löbs Einführung in die Elektrochemie die passendste sein.

Ferner sind für Physiologen interessant die „Zeitschrift für Elektrochemie", Halle, herausgegeben von Ostwald, Nernst und Borchers; diese Zeitschrift widmet — neben den technischen Aufgaben der Elektrochemie — der reinen Theorie den breitesten Raum.[1]) Es existirt auch eine „Elektrochemische Zeitschrift", Berlin, welche mehr der technischen Elektrochemie gewidmet ist.

Es erübrigt mir noch, auf eine Reihe von Einzelarbeiten hinzuweisen, welche entweder für die allgemeine Physiologie oder für spezielle Gebiete derselben von Interesse sind:

J. Smale, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. XIV, 1894, Seite 598, lieferte eine sehr genaue Untersuchung über Gasketten. Seine Ziffern, welche die hohe Leitfähigkeit der Schwefelsäure demonstriren, sind sehr interessant für die elektrochemische Betrachtung der therapeutischen Wirkung der Sulfate.[2])

Coehn, Zeitschr. f. Elektrochemie, 4, 1897, S. 63/67, lieferte eine Untersuchung über elektrolytische Wanderung colloider Lösungen.

W. v. Miller, Zeitschr. f. Elektrochemie, 4, 1897, S. 55/58, Ueber (elektrolytische) Synthesen von organischen Säuren.

Whitney, Briggs und Means lieferten elektro-analytische Methoden für Bodenuntersuchung. U. St. Department of Agriculture, Division of Soils, Bull. 6, 7 und 8.

Kaufmann, Ueber das Verhalten von Mittelleitern, Zeitschr. f. Elektrochemie, 3, 1897, p. 237. Interessant wegen des Verhaltens der rothen Blutkörperchen und vieler anderer physiologischer Erscheinungen. Ueber denselben Gegenstand berichtete:

Löb, Verwendung poröser Kohlecylinder, Zeitschr. f. Elektrochemie, 3, 1897, p. 186.

---

1) Diese Zeitschrift scheint unter Physiologen ganz unbekannt zu sein. Selbst Spezialisten in Elektrophysiologie lesen sie nicht.

2) Dieser Zusammenstellung bin ich zuerst begegnet in dem vortrefflichen Handbuch der „Primär-Elemente" von Carhart-Schoop, I. Band der „Encyklopädie der Elektrochemie", Halle 1895.

Für die Physiologie interessant ist ferner:

Konstam und v. Hausen, dieselbe Zeitschrift 3, p. 137/144, 1896/97, Ueber elektrolytische Darstellung einer neuen Klasse oxydirender Substanzen. Die Verfasser erhielten durch Elektrolyse von Alkalicarbonaten sehr unbeständige Alkalipercarbonate, welche in der Wärme in Carbonate und Wasserstoffsuperoxyd zerfallen. Zahlreiche Umstände weisen darauf hin, dass fast alle Pflanzen- und Thierzellen ähnliche Reaktionen hervorbringen müssen.

Wem ausführlichere Monographien nicht zugänglich sind, wird mit Interesse das Referat von

Biehringer, Ueber die Elektrolyse org. Körper, Naturwissensch. Rundschau, 11, 1896, Nr. 49/52, lesen.

Ueber Einfluss des Lichtes auf die Leitfähigkeit von Elektrolyten berichten:

Chastaing, Ann. Chim. Phys. (5.), 11, p. 145.
Vogel, Ber. d. deutsch. chem. Gesellsch., 10, p. 1638.
Arrhenius, Ber. d. Wiener Akademie, 33, p. 638 (1888); 96, p. 831 (1897).
Chevreuil, Comptes rendus, 1858, p. 1007.
Moreau, Comptes rendus, 1865, p. 321.
Lemoine, Ann. Chim. Phys. (5.), 12, p. 145.

Ueber die elektrolytischen Dissoziationstheorien im Allgemeinen schrieben:

Arrhenius, Ueber die Dissoziation der im Wasser gelösten Salze, Zeitschrift f. physik. Chemie, Bd. I, 1887.
— Theorie der isohydrischen Lösungen. Gefrierpunkt verdünnter wässeriger Lösungen, dieselbe Bd. II, 1888.
— Ueber die Aenderung des elektr. Leitvermögens durch Zusatz kleiner Mengen Nichtleiter, dieselbe Bd. IX, 1892.
Ostwald, Ueber die Dissociationstheorie der Elektrolyse, Zeitschrift f. physik. Chemie, Bd. II, 1888.
Raoult, Bestimmung des Gefrierpunktes wässeriger Lösungen von grosser Verdünnung, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. IX, 1892.
— Die Gefrierpunkte verdünnter wässeriger Lösungen, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. II, 1888.
Tamman, Zur Messung osmotischer Drucke, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. IX, 1892.
Van 't Hoff, Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. I, 1887.
— Zur Theorie der Lösungen, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. II, 1888.
Van 't Hoff und Frowein, Die Dissociation krystallwasserhältiger Salze, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. I, 1887.

Van 't Hoff und Reicher, Ueber die Dissociationstheorie der Elektrolyte, Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. II, 1888.

Ueber Ionen im gasförmigen Zustande schrieben:

Lorentz, La théorie électro-magnetique de Mol. Leyden, 1892.
— Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern. Leyden, 1895.
Zeemann, Phil. Mag., 1897, 43. Bd., p. 226; 44. Bd., p. 55, 1897.
— Beiblätter zu Wiedemanns Annalen Phys. Chem., 1897, 21. Bd., p. 138, 765.
— Comptes rendus, 124. Bd., p. 1444, 1897.
— Zittingsversl. Kon. Akad. v. Wet., Amsterdam, 1896/97, p. 181, p. 242; 1897/98, p. 13, 99.
Lorentz, Einfluss magnet. Kräfte auf die Emission des Lichtes, Wiedemanns Annalen, 63 Bd., p. 278, 1897.

Zum Selbststudium der höheren Mathematik (Differential- und Integralrechnung), ohne welche man physikalische Chemie nicht studiren kann, ist das gebräuchlichste Handbuch dasjenige von

Stegemann, Diff.- und Integr.-Rechnung, Hannover, I. Auflage 1863, II. Auflage 1873. Die neueren Auflagen sind von Kiepert umgearbeitet. Die alten Auflagen sind leichtverständlicher, die neuen reichhaltiger.

Literatur über physiologische Elektrochemie.

Die Literatur über physiologische Elektricität dürfte den Physiologen entweder bekannt oder doch leicht erreichbar sein.

Ausführlichen Literatur-Zusammenstellungen über diesen Gegenstand und die damit zusammenhängende physikal.-chem. Physiologie begegnet man in:

Biedermann, Elektrophysiologie, Jena, 1895.
John Sjöquist, Physik.-chem. Beobachtungen über Salzsäure, Skand. Arch. f. Physiol., Bd. 5, p. 277.
R. F. Fuchs, Ueber die Permeabilität der rothen Blutkörperchen, Sitzungsb. d. „Lotos", 1898, Nr. 4;

ferner in allen auf dieses Gebiet Bezug habenden Arbeiten von Hedin, Koeppe, Jacques Löb, Overton etc., welche zumeist in Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie und in ähnlichen Zeitschriften erschienen sind.

Ausserdem gehört hierher die vorläufige Mittheilung von

Roth, Ueber Leitfähigkeit thierischer Flüssigkeiten, Centralbl. f. Physiologie, 1897, 11. Bd., p. 271,

und die vorläufige Mittheilung von

Stewart, Ueber Leitfähigkeit thierischer Flüssigkeiten, Centralbl. f. Physiologie, 1897, 11. Bd.

J. Winter, Arch. de Physiol., 28 (1896), p. 529, beschreibt Versuche über „Equilibre moléculaire des Humeurs". „Es wird früher oder später nothwendig werden, bis ins Innerste dieser molekularen Vorgänge zu dringen, welche, wie man zu übersehen scheint, ungeheuere Kräfte entfesseln können." (Das Letztere ist auch im Original in gesperrten Lettern gedruckt.)

Es muss noch besonders hingewiesen werden auf die Arbeiten von

Kunkel, Pflügers Arch., 25. Bd., p. 342 und Arbeiten des botan. Instituts zu Würzburg, II, p. 1,

wegen ihrer für Physiologen ganz ungewöhnlichen Beherrschung der physikalischen Forschung. Kunkels Arbeiten über Wasserverschiebungen und Kapillarelektricität werden hoffentlich noch gute Früchte tragen, bis man sich der Wichtigkeit des Studiums der Kapillarelektricität für Thier- und Pflanzenphysiologie bewusst werden wird.

Ferner seien erwähnt:

W. J. Tschagowetz (Journal der russ. phys.-chem. Ges., 7, 28) versuchte die Dissoziationstheorie von Arrhenius auf die elektromotorische Kraft der Muskelzelle anzuwenden. Er sieht (nach dem Referat in der Zeitschrift für physik. Chemie, 1897, S. 558) die Muskelzellen als Konzentrationsketten an und hat die experimentellen Ziffern mit den nach der Theorie mathematisch berechneten gut übereinstimmend gefunden. Die Originalarbeit ist mir nicht zugänglich und nach dem Referat lässt sich der Gedankengang Tschagowetz' nicht gut verfolgen.

Max Aker-Blom (Wilmanstrand, 1897 und 1898, Kommissionsverlag Koehler, Leipzig) hat mehrere Broschüren über elektrochemische Therapie veröffentlicht.

Rudolf Mewes (Elektrochem. Zeitschr., IV, Heft 3, p. 49), ein bekannter Physiker schreibt über Zahnheilkunde mittels elektrochemischer Methoden (der sog. Kataphorese) und findet natürlich wie alle Physiker, die jemals einen Blick in die medizinische Literatur geworfen haben, die Unwissenheit der Mediziner in Bezug auf die theoretischen Grundlagen der Chemie sehr merkwürdig. „Eine solche Erscheinung", sagt er, „ist nur dadurch erklärbar, dass selbst die einsichtigeren Mediziner über einen zu geringen Bestand an physikalischen und chemischen Kenntnissen verfügen, als dass sie sich ein klares Verständniss oder auch nur ein annähernd richtiges Bild von den chemischen und mechanischen Vorgängen beim Durchgang des galvanischen Stromes durch Elektrolyte — denn ein solcher ist der menschliche Körper — verschaffen könnten."

G. Weiss, Journ. de Phys. (3.), 6. Bd., p. 72, 1897, Referat in Wiedemanns Annalen, Beiblätter, 21. Bd., 1897, untersuchte die Polarisation der Muskeln und fand, dass der Muskel sich verhält wie eine Masse von Theilchen, welche sich polarisiren und kleine Akkumulatoren bilden, die Letzteren in Serien angeordnet. (Rosenbach hat schon früher in seiner Broschüre „Der Nervenkreislauf", Berliner Klinik, Heft 101, Berlin, 1896, darauf hingewiesen, dass alle Zellen, insbesondere die Ganglienzellen, als Akkumulatoren angesehen werden müssen, vor allem aus funktionellen, nicht etwa aus elektrochemischen Gründen.)

G. Tamman, Die Thätigkeit der Nieren im Lichte der Theorie des osmotischen Drucks (Zeitschr. f. physik. Chemie, 20. Bd., p. 180, 1896.

Zusammenfassung.

Meine Darlegungen gipfeln in folgenden Punkten:

1. Die genaue Kenntniss aller von der physikalischen Chemie beschriebenen Erscheinungen ist für eine wirklich wissenschaftliche Behandlung biologischer Probleme absolut unerlässlich.
2. Speziell die Elektrochemie als einer der wichtigsten Theile der theoretischen Chemie mit einem überaus reichen und wenig gekannten Thatsachenmaterial ist für die Physiolgen mindestens ebenso wichtig wie etwa die Atomtheorie mit ihrem mehr hypothetischen Inhalt.
3. Aeusserlich scheinbar unelektrische Vorgänge dürfen nicht als unelektrische von vornherein angesehen werden.
4. Alle Versuchsmethoden und Hypothesen der Physiologie, Pathologie und Therapie müssen an der Hand der von der physikalischen Chemie beobachteten Thatsachen revidirt werden.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.

Der Elektromagnet

von

Silvanus P. Thompson, D. Sec.,

Direktor und Professor der Physik an der technischen Hochschule der Stadt und Gilden von London.

Deutsche Übersetzung von **C. Grawinkel.**

Mit zahlreichen in den Text gedruckten Abbildungen. Preis Mk. 15,—.

Die Herstellung und Verwendung der Akkumulatoren in Theorie und Praxis.

Ein Leitfaden

von

F. Grünwald,

Ingenieur für Elektrotechnik.

Mit 83 Holzschnitten. Zweite Auflage. 1897. Preis Mk. 3,—.

Elektrochemische Übungsaufgaben.

Für das

Praktikum sowie zum Selbstunterricht

zusammengestellt

von

Dr. Felix Oettel.

Mit 20 Holzschnitten im Texte. Preis Mk. 3,—.

Die Sekundär-Elemente.

Auf Grundlage der Erfahrung dargestellt

von

Paul Schoop,

Doktor der Naturwissenschaften.

Mit 23 Curven und 182 Figuren. 3 Teile à Mk. 8,—.

Entwicklung, Bau und Betrieb

der

Elektrischen Öfen

zur

Gewinnung von Metallen, Carbiden

und anderen metallurgisch wichtigen Produkten.

Von

Dr. W. Borchers,

Lehrer an der Königl. Maschinenbau- und Hüttenschule in Duisburg.

Preis Mk. 3,—.

Verlag von Wilhelm Knapp in Halle a. S.

Mehrphasige
Elektrische Ströme
und
Wechselstrommotoren.

Von

Silvanus P. Thompson,

Direktor und Professor der Physik an der technischen Hochschule der Stadt und Gilden von London.

Autorisierte deutsche Übersetzung von **K. Strecker.**

Mit 171 in den Text gedruckten Abbildungen und 2 Tafeln. — Preis Mk. 12,—.

Theorie und Praxis
der
Analysischen Elektrolyse der Metalle.

Von

Dr. phil. Bernhard Neumann,

Assistent für Hüttenkunde an der Kgl. Techn. Hochschule zu Aachen.

Mit 65 in den Text gedruckten Abbildungen. Preis Mk. 7,—.

Über Isolations- und Fehlerbestimmungen
an elektrischen Anlagen.

Von

Dr. O. Frölich.

Mit 132 Abbildungen im Texte. Preis Mk. 8,—.

Vademecum für Elektrotechniker.

Praktisches Hilfs- und Notizbuch
für
Ingenieure, Elektrotechniker, Werkmeister, Mechaniker u. s. w.

Begründet von **E. Rohrbeck**, fortgesetzt von **Arthur Wilke.**

Vierte Auflage. Mit vielen Holzschnitten. Taschenformat. 1894. Preis Mk. 4,—.

Halle a. S., Buchdruckerei des Waisenhauses.

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARIES

This book is due on the date indicated below, or at the expiration of a definite period after the date of borrowing, as provided by the rules of the Library or by special arrangement with the Librarian in charge.

DATE BORROWED	DATE DUE	DATE BORROWED	DATE DUE
C28(1141)M100			

QP514 K82

Kohn

Studien und versuche über physiologische elektrochemie.